

初動負荷トレーニングによる神経筋の協応能の変化とその解析

Beginning Movement Load Training-Induced Neuromuscular Adaptations In Humans

小山 裕史 (Yasushi Koyama) 指導：鈴木 秀次

1. 序論

ヒトの神経筋系の協応動作は、日常行っている身体運動の量と種類に特異的に変化・適応する(Enoka 1997)。従って、身体トレーニングによる神経筋の適応は、力の獲得を含め、実際におこなったトレーニング状況に特異的に起こることが知られている。この特異性に影響を与える因子としては、運動時に使用される筋群、筋収縮の活動様式とその速さ、運動時の可動範囲および姿勢が含まれる。よって、ある特定の身体トレーニングによって獲得された筋力が、その筋を含んだ異なる運動時には必ずしも十分に反映されるとは限らない。そのため、神経筋系の協応能を高めるには動作の特異性を考慮した身体トレーニングが極めて重要であるとされている。しかし、従来の筋力を向上させる目的でおこなわれる筋力トレーニングの身体動作は、通常に実施されている身体運動とは大きな差異のあることが知られている。

このような背景を下に、著者はヒトの神経筋系の協応動作をより改善するためのトレーニング理論の構築とそれを可能にする装置を併せて開発し、初動負荷トレーニング(Beginning movement load training)の実践について体系化を試みた(1994)。

初動負荷トレーニングの大きな特徴として、筋の弛緩-伸張-短縮を伴う一連の律動的な動作およびかわし動作がある。しかしながら、従前のトレーニングマシンではこの特徴を最大限に表現することが困難であったため、カム・クランク機構を搭載したトレーニング装置の開発に着手し専用の初動負荷トレーニングマシンの実現に至った。これにより、最大筋力の約30%の負荷を用いておこなう動作の開始においては、「動作初期の与負荷に起因する弛緩」と呼ばれる、筋が弛緩した状態で始まり、カム・クランク機構によってより効果的に負荷が漸増されることで筋が低張力で伸張される点に特徴がある。筋の伸張過程では筋への負荷が漸増し、運動が繰り返されると周期毎に筋が伸張されるため、その筋は伸張反射によって収縮し再び弛緩する。さらにその弛緩相の出現がトレーニング動作の自由度を高めることを可能にし、結果、前腕の回内動作を含めたかわし動作を実現した。

このような特徴を持った初動負荷トレーニングマシンは、主動筋と拮抗筋の相反的な活動によって共収縮が非常に少なく、また近位から遠位への順次的な筋活動が実現可能であるとされている(小山ら, 2005)。現在までに本マシンは7種類、小山によって発案・開発されているが、神経筋の協応能を高め、円滑で協調性の高い身体動作を獲得するトレー

ニングの確立を目指す上で、本トレーニングマシンの特徴を科学的に明らかにすることは大変意義深いものとなる。

以上のような背景を下にして、本博士論文では初動負荷トレーニングマシンを用いた際の身体動作特性を系統的に明らかにするため、単純なラットブルダウン動作の特徴を明らかにするとともに、マシンの自由度を徐々に増やしたときのキネマティクスと筋活動を比較・検討した。

2. 本論

被験者は健康で初動負荷トレーニングに習熟している男性7名(年齢:29.4 ± 5.6才)とした。実験はラットブルダウン動作を自由度の異なる3タイプのトレーニング装置を用いておこない、各動作中における右上肢、体幹部のキネマティクス、そして各筋(上腕二頭筋短頭、上腕三頭筋外側頭、後部三角筋、広背筋、前鋸筋)の筋活動量およびそのタイミングをしらべた。運動負荷はいずれも最大筋力の30%の条件下でおこなった。トレーニング装置は、タイプ1(前額面における肩関節外転-内転、肘関節伸展-屈曲の平面的な動作)、タイプ2(前腕の回外-回内を加えた動作)、タイプ3(前腕の回外-回内と肩関節水平伸展-屈曲を加えた動作)の3種類とした(図1)。全ての運動は弛緩-伸張-短縮の一連の筋活動を伴う初動負荷トレーニング動作でおこなうよう指示した。

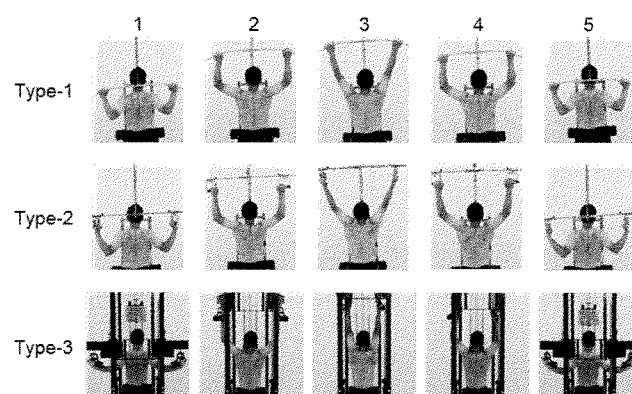


図1. 各装置によるラットブルダウン動作

その結果、従来型のタイプ1と比べて自由度が2つ加わったタイプ3では、図2Cで見られるように、他の2つの装置と比べて関節間の異なる協調性を有しており、時空間的に異なる作業領域で筋が活動していることが示唆された。また、タイプ3は上肢の可動範囲を示す手首の左右および鉛直方向変位が有意に増加した(図2)。これは、肩関節最大外転角度の増大、そして動作の下制時において肘関

節がやや屈曲した後に伸展することが可能となったことに起因するものであり、その結果として、タイプ3ではラットプルダウンの主動作である肩関節内転運動時の最大角加速度が他の装置と比べて増大した。このような特徴を示したタイプ3は、肩から肘、そして手首へと下制中の鉛直速度最大値のタイミングに有意な位相の違いが見られ、近位から遠位への筋放電を示唆する特徴が示された。

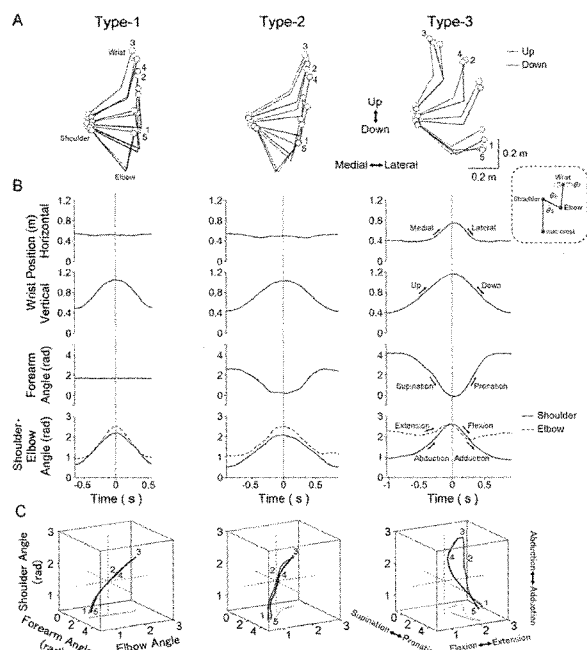


図2. 各装置における1周期間のキネマティクスの比較

A: 右上肢のスティックピクチャ, B: 手首変位 (左右, 鉛直方向), 前腕回旋, および肘・肩関節角度変化, C: 前腕回旋, 肘関節および肩関節角度のangle-angle diagram.

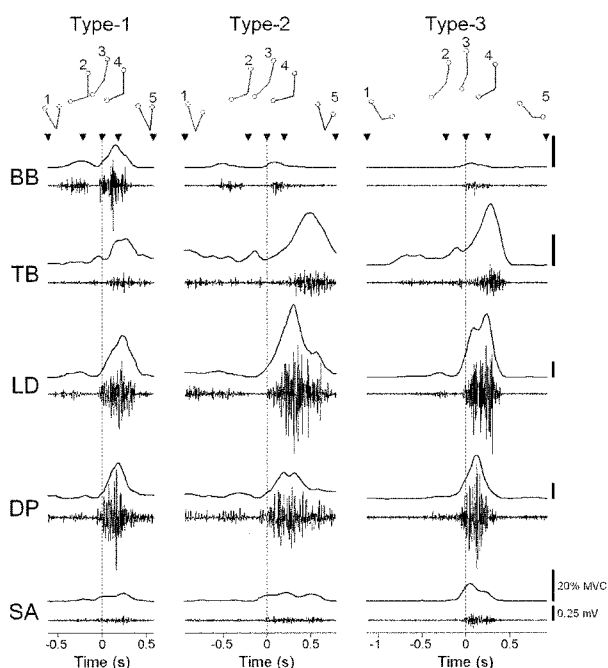


図3. 各装置における体幹と上肢筋活動

BB (上腕二頭筋), TB (上腕三頭筋), LD (広背筋), DP (後部三角筋), SA (前鋸筋)

各装置でラットプルダウン動作をおこなったときの上肢筋活動を比較したところ、回内動作が加わった2つの装置では上腕二頭筋の活動量が有意に減少した。一方、タイプ3における上腕三頭筋の筋活動はタイプ1と比べて有意に増大した (図3, 4B)。また、タイプ3は動作初期における各筋の筋放電がほとんど確認されず、より長い時間、筋が弛緩していることが見てとれる。さらには動作の切り返し局面の前後で前鋸筋から後部三角筋, 広背筋, そして上腕三頭筋へと近位から遠位への順次的な筋放電を示した (図3, 4A)。

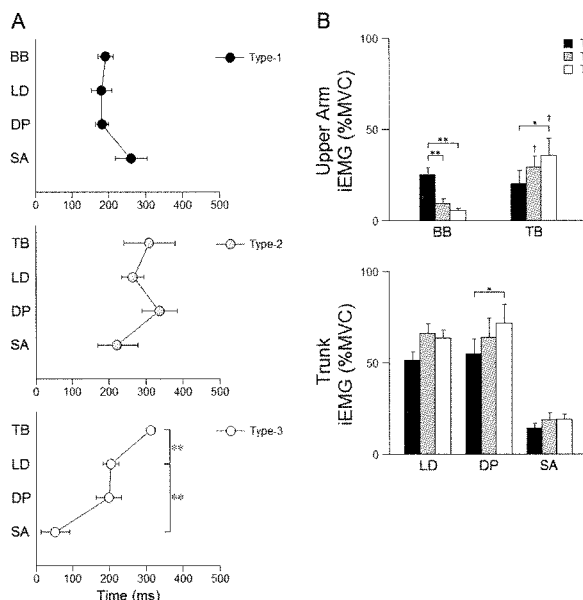


図4. A: 各装置における筋活動のピークタイミング, B: 各筋の筋活動量の比較. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, † $p < 0.05$

以上の結果から、タイプ3は他の装置とは異なる筋放電パターンを示すことが明らかとなった。鉛直方向の可動範囲が増大したタイプ3は、結果として肩関節最大内転角加速度が増大した。これは、上肢を下制方向に動かすために、肩甲骨が、肩関節の内転運動に先行して再び胸郭に収まろうとする先行随伴性姿勢調節が機能したものと考えられ、前鋸筋の先行活動はそれを示唆するものである。この近位の先行活動を実現したことによって、タイプ3は投球動作や打撃動作などといった、末端部を加速させる動作に見られる近位から遠位への順次的な筋活動を実現できたものと考えられる。よって、自由度を増やしてかわし動作を可能にした初動負荷トレーニングマシン動作は、各種の運動競技場面、あるいは日常の場面に見られる無拘束な身体運動の活動様式により近い動作形態を実現できることが科学的に実証された。従来のそれには見られない特徴を有した初動負荷トレーニングマシンは、可塑的变化を促すことを目的とするリハビリテーション、あるいは身体運動技術の向上を目的とした合目的なトレーニングとして有用であることが示唆され、身体的・精神的に質を高めるWell-beingの獲得を促すものと期待される。